© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Kriebelmücken (Diptera, Simuliidae) und ihre Rolle als Krankheitsüberträger

Doreen Werner & Jörg Grunewald

Abstract: **Black flies (Diptera, Simuliidae) and their role as disease vectors in humans**. The developmental stages of the Simuliidae inhabit all kinds of lotic waterways and usually aggregate in turbulent sections of streams, rivers, waterfalls and spillways. The sessile larvae are filter feeders and often form a large proportion of the benthic biomass. The haematophagous black fly females (Diptera, Simuliidae) are serious biting pests everywhere. Allergy to black fly bites can be serious and may present as simuliosis in humans and simuliotoxicosis in cattle. These clinical pictures are often encountered along larger rivers in lowland areas, where the black flies tend to occur in mass populations. In certain regions of the world, black flies are also obligate vectors of vertebrate pathogens affecting humans, livestock and poultry: they may transmit *Dirofilaria*, *Mansonella*, *Onchocerca* (Kinetoplastida: Onchocercidae) and *Leucocytozoon* (Apicomplexa: Plasmodiidae) species and are possibly involved in the transmission of some viruses. Onchocerciasis control programmes have traditionally addressed the *Simulium* vectors by environmental and constructional modifications regarding water management as well as by periodically treating streams and rivers with chemical and/or bacterial larvicides. Here, control is based on chemical insecticides and toxic "biological" products such as *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* toxin.

Key words: Black flies, Simuliidae, filarial vectors, biting pests, onchocerciasis, simuliosis, simuliotoxicosis.

Inhaltsübersicht

1. Einleitung 234
2. Systematische Stellung und Morphologie 234
3. Vorkommen, Verbreitung und Ökologie 235
4. Entwicklungszyklus 235
5. Medizinische Bedeutung 236
   5.1. Plageerreger 236
      5.1.1. Belästigung durch Massenauftreten 237
      5.1.2. Belästigung durch Stiche 237
   5.2. Übertragung von Pathogenen 238
      5.2.1. Viren 238
      5.2.2. Protozoen 239
      5.2.3. Nematoden 239
6. Vorbeugung, Therapie und Bekämpfung 239
7. Dank 240
8. Zusammenfassung 240
9. Literatur 240

H. Aspöck (Hrsg.):
Krank durch
Arthropoden,
Denisia **30** (2010):
233–243

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

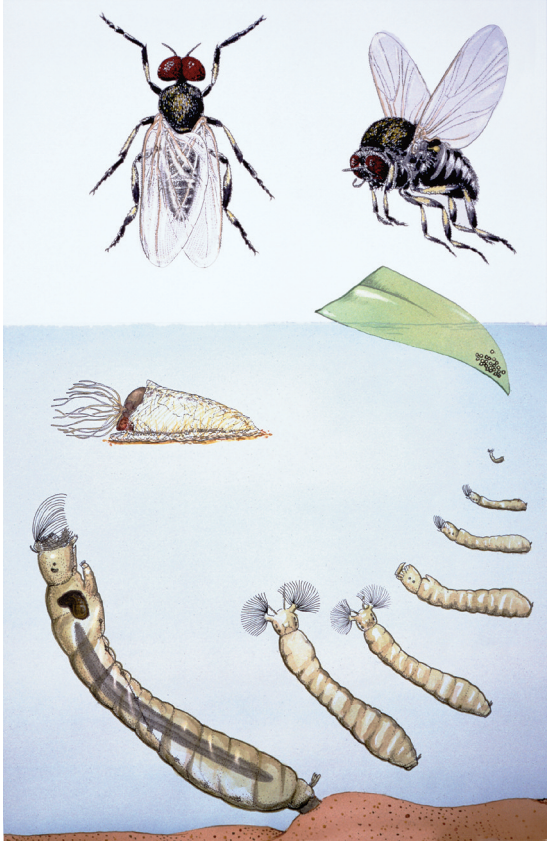

Abb. 1: Entwicklungszyklus der Simuliidae (verändert nach KURECK 1990).

1. Einleitung

Kriebelmücken gehören zu den typischen Bewohnern von Fließgewässersystemen, in denen sich ihre Larven und Puppen entwickeln. Aufgrund der angepassten Lebensweise der präimaginalen Stadien an die Bedingungen unterschiedlichster Fließgewässertypen kommen sie oft in hoher Dichte zur Entwicklung. In manchen Bruthabitaten kann die Anzahl der Simuliiden-Larven pro Quadratmeter 6.000 übersteigen (WERNER 2003, WERNER unveröffentlicht). Das synchronisierte Schlupfverhalten führt häufig zu einem Massenauftreten von adulten Kriebelmücken, das bei hämatophagen Arten mit aggressivem Stechverhalten erhebliche saisonale Behinderungen in der Land- und Forstwirtschaft nach sich ziehen kann. Auch der Tourismus kann stark beeinträchtigt werden, da der Aufenthalt im Freien wegen der steten Anflüge der Mücken kaum möglich ist (WERNER 2003, 2006; WERNER & PONT 2004).

Simuliiden verdienen jedoch nicht nur als Plageerreger und Lästlinge an Mensch und Tier Aufmerksamkeit. Zahlreiche Simuliiden-Arten bzw. -Artenkomplexe spielen eine wichtige Rolle bei der Übertragung von Krankheitserregern und erlangen somit eine beträchtliche human- und veterinärmedizinische Bedeutung.

2. Systematische Stellung und Morphologie

Der Familienname „Simuliidae" stammt von der lateinischen Bezeichnung „*Simulium*", die von LATREILLE 1802 zur Beschreibung ihrer umfangreichsten Gattung eingeführt wurde. Die Familie enthält derzeit mehr als 2.000 beschriebene Arten (ADLER & CROSSKEY 2010). Ihre systematische Stellung wird durch ihre Morphologie und Lebensweise begründet.

Stamm Arthropoda (Gliederfüßer)
- Abteilung Mandibulata (Mandibelträger)
  - Unterstamm Tracheata (Tracheenträger)
    - Klasse Insecta (Insekten)
      - Ordnung Diptera (Zweiflügler)
        - Unterordnung Nematocera (Mücken)
          - Familie Simuliidae (Kriebelmücken)

Bei den Simuliiden handelt es sich um kleine, kompakte Mücken, deren Körperlänge 3-5 mm und deren Flügelspannweite bis zu 15 mm betragen kann. Die stark gewölbte Ausbildung des Mesothorax verleiht ihnen ein charakteristisches, buckliges Aussehen. Die Mücken sind meist dunkel, nur in wenigen Gruppen gold bis bräunlich gefärbt. Selbst für den Spezialisten gestaltet sich die Bestimmung, Charakterisierung und systematische Zuordnung der Arten aufgrund morphologischer Ähnlichkeiten innerhalb der Familie Simuliidae oft als extrem schwierig. Weitere Komplikationen verursacht die Existenz von Zwillingsarten, die sich häufig gar nicht oder nur aufgrund von kleinsten Details in bestimmten Entwicklungsstadien voneinander unterscheiden. Hier sind zytogenetische, biochemische oder molekularbiologische Techniken zur Artdifferenzierung gefragt.

Nach ZWICK & WERNER (1999) sowie JEDLIČKA et al. (2004) ergibt sich für den paläarktischen Raum folgende Gattungs-/Untergattungsübersicht innerhalb der Unterfamilien der Simuliidae:

Prosimuliini ENDERLEIN, 1921
- Gattung *Metacnephia* CROSSKEY, 1969
- Gattung *Prosimulium* ROUBAUD, 1906
  - Untergattung *Prosimulium* ROUBAUD, 1906
- Gattung *Twinnia* STONE & JAMNBACK, 1955

Simuliini NEWMAN, 1834
- Gattung *Simulium* LATREILLE, 1802
  - Untergattung *Boophthora* ENDERLEIN, 1925
  - Untergattung *Byssodon* ENDERLEIN, 1925
  - Untergattung *Eusimulium* ROUBAUD, 1906
  - Untergattung *Hellichiella* RIVOSECCHI & CARDINALI, 1975
  - Untergattung *Nevermannia* ENDERLEIN, 1921
  - Untergattung *Obuchovia* RUBTSOV, 1947
  - Untergattung *Rubzovia* PETROVA, 1983
  - Untergattung *Schoenbaueria* ENDERLEIN, 1921

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Untergattung *Simulium* LATREILLE, 1802
Untergattung *Wilhelmia* ENDERLEIN, 1925

3. Vorkommen, Verbreitung und Ökologie

Die Familie Simuliidae ist weltweit verbreitet. Ausschlaggebend für die Ansiedlung ist die Existenz von Fließgewässern, die aufgrund der besonderen Anpassungen der präimaginalen Entwicklungsstadien die ausschließlichen Bruthabitate der Kriebelmücken darstellen. Unter diesen können alle Typen vom Quellbereich bis zur Mündung besiedelt werden. Viele schaderregende Arten brüten in großen Flachlandflüssen, von denen manche Milliarden von Mücken pro Kilometer am Tag produzieren (IGNJATOVIĆ-ĆUPINA et al. 2006; WERNER 2003).

In den Bruthabitaten übernehmen die Kriebelmücken einen wichtigen Teil in der Nahrungskette und sind als Filtrierer maßgeblich an der Umsetzung von organischer in anorganische Materie beteiligt. Die Zusammensetzung der Arten ist sehr eng an die physikalischen und chemischen Bedingungen des Gewässers gekoppelt (WICHARD 1976). Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern spielen eine entscheidende Rolle hinsichtlich der Verbreitung einzelner Simuliiden-Arten und der Ausbildung von Massenpopulationen (CARLSSON 1967; WERNER & PONT 2004; WERNER 2006; ĆUPINA et al. 2006; KACHVORYAN et al. 2007). Oft kommt es gerade infolge solcher Maßnahmen, die das bestehende ökologische Gleichgewicht durcheinander bringen, alte Brutmöglichkeiten vernichten und/oder neue schaffen, zur Massenentwicklung mit nachfolgenden Plageerscheinungen.

Die globale Klimaveränderung, die bei vielen Tiergruppen in erster Linie mit einem Populationswachstum und der Ausbreitung von Arten in Zusammenhang gebracht wird, scheint dagegen auf einige Arten der Simuliidae einen eher negativen Effekt zu haben (WERNER & GRUNEWALD 2008). Eine Erhöhung der Wassertemperatur im Bruthabitat führt – genauso wie der Verlust der Ufervegetation – zur Minderung der Biodiversität (KAZANCI 2006). Andere Arten wiederum reagieren sehr empfindlich auf Änderungen der Fließgeschwindigkeit und des Wasserstandes.

4. Entwicklungszyklus

Wie alle anderen Dipteren durchlaufen die Simuliiden einen holometabolen Entwicklungszyklus, der in diesem Fall über 6-7 Larvenstadien und ein Puppenstadium zur Imago führt (Abb. 1). Die meisten befruchteten Simuliiden-Weibchen können während ihrer kurzen Lebensspanne bis zu 300 Eier produzieren (COLBO 1982), einige bis zu 1000 (CROSSKEY 1990), wobei die Körpergröße der einzelnen Arten einen limitierenden Einfluss ausübt. Die charakteristisch in dreieckiger Grundgestalt geformten Eier werden über verschiedene Strategien im Bruthabitat abgelegt. Während zahlreiche Arten ihre Eier einzeln im Flug über der Wasseroberfläche abwerfen, kleben andere ihre Eier als Pakete oder Schnüre an von Wasser umspülte Substrate wie Steine, Wasserpflanzen, Zweige oder nicht natürliche Materialien.

Die wurmförmig gestalteten Larven verfügen über eine Verdickung am kaudalen Ende des Körpers, besitzen einen typischen Bauchfuß und tragen an der sklerotisierten Kopfkapsel paarig angelegte Kopffächer als Filterorgane. Zur Nahrungsaufnahme werden letztere abgeknickt und durch die Mundwerkzeuge gezogen. Bereits die geschlüpfte Erstlarve kann mit Hilfe ihrer Speicheldrüsen eine Art Seidenfaden produzieren, der ihr die Anheftung und den Standortwechsel im Brutbereich ermöglicht. Sie durchläuft weitere fünf bis sechs Larvenstadien und erreicht schließlich, je nach Art und Nahrungsangebot, eine Länge von ca. 10 mm. Das letzte Larvenstadium webt auf dem Haftsubstrat einen arttypischen Kokon, in dem die Verpuppung erfolgt. Während sich die Larven von Detritus, Bakterien, Phytoplankton und anderen Mikroorganismen ernähren, nimmt die Puppe keine Nahrung zu sich. Sie ist mit zwei verzweigten fadenförmigen Organen seitlich des Kopfes ausgestattet, die meist aus dem Kokon herausragen und der Atmung dienen.

Die Dauer der Entwicklung der präimaginalen Stadien ist stark von den Umweltbedingungen und den ökologischen Ansprüchen der jeweiligen Art abhängig. Die Wassertemperatur hat hierbei zweifelsfrei den wichtigsten Einfluss (ROSS & MERRITT 1988). Univoltine Arten, die die wärmeren Sommermonate als Ei überdauern, beginnen ihre Entwicklung meist in den kälteren Herbstmonaten und benötigen von der Eiablage bis zum Schlupf der adulten Mücken fast ein Jahr. Multivoltine europäische Arten, die sich kontinuierlich im Jahresverlauf entwickeln, benötigen unter optimalen Bedingungen für den gesamten Durchlauf der Entwicklungsstadien ungefähr zwei Wochen, in tropischen Gebieten mindestens vier Tage (CROSSKEY 1990). Bei überwinternden Arten findet die Diapause gewöhnlich während der Larvalentwicklung statt, die dadurch mehrere Monate andauern kann.

Der Schlupf der Imago (Abb. 2) aus der Puppenhülle erfolgt mit Hilfe einer zuvor angereicherten Luftblase und findet hauptsächlich in den Morgenstunden statt. Die sofort flugfähigen Mücken sammeln sich zum Aushärten an der Ufervegetation. Die Männchen vieler Arten sind danach in der Nähe der Bruthabitate an definierten Landmarkern, wie Bäumen und Büschen, oft in

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 2: Schlüpfendes *Simulium noelleri* Männchen (Foto: WERNER 2004).

Abb. 3: *Simulium* sp. beim Saugakt am Menschen (Foto: WERNER 2006).

Schwärmen zu finden. Bei zahlreichen Arten dient die Schwarmbildung der Partnerfindung. Die Kopulation findet im Flug oder am Boden statt. Die Lebensdauer der Imagines beträgt selten mehr als zwei bis drei Wochen (CROSSKEY 1990), kann sich unter tropischen Bedingungen oder im Labor aber auf zwei bis drei Monate erstrecken (DALMAT 1952; DAVIES 1953).

5. Medizinische Bedeutung

Im Gegensatz zu zahlreichen anderen Familien mit Blut saugenden Vertretern nehmen die Kriebelmücken ihre Blutmahlzeit ausschließlich von Vögeln und Säugern auf. Je nach Art benötigen die Weibchen vor oder nach der Begattung eine Blutmahlzeit, um Eier produzieren zu können.

Simuliiden sind „pool feeder". Beim Saugakt der Weibchen (Abb. 3) wird durch die kräftigen, klingenförmigen Stechborsten des kurzen Rüssels (KRENN & ASPÖCK 2010) die entsprechende Hautpartie „geöffnet" oder „aufgerissen", was zum Austritt eines Blutstropfens führt (Abb. 4) und starke Nachblutungen verursachen kann. Wird eine Nervenendigung getroffen, kann der Stechakt sehr schmerzhaft sein. Manchmal wird der Stich aber erst bemerkt, wenn Nachblutungen auftreten und/oder der Juckreiz einsetzt. Das Austreten von Blut aus der Wunde wird durch die Injektion eines Speicheldrüsensekrets gefördert, welches u.a. die Blutgerinnung hemmt. Im Gegensatz zu Kapillarsaugern lecken die Mücken das austretende Blut auf. Die Blutaufnahme dauert meist einige Minuten.

Bei den Wirten muss in erster Linie zwischen der Belästigung und Schadwirkung durch Kriebelmückenstiche ohne (Plageerreger) und mit Übertragung von Krankheitserregern (Vektoren) unterschieden werden. Der Anteil der Arten, die an der Schadwirkung beteiligt sind, beträgt weltweit nicht mehr als 10-20 % am Gesamtartenspektrum (ADLER & MCCREADIE 2009).

Obwohl der Anflug der einzelnen Kriebelmückenarten stark wirtsspezifisch ist (WENK & SCHLÖRER 1963; RÜHM 1983), ist das Wirtsspektrum der Blut saugenden Spezies bisher nur unzureichend bekannt. Es scheint jedoch keine Kriebelmückenart zu geben, die ausschließlich den Menschen befällt. Trotz ihrer Präferenzen bleiben die Mücken flexibel und sind willig, auch von anderen Säugerarten Blut aufzunehmen. So saugen viele Arten, die den Menschen anfliegen, auch an domestizierten Weidetieren, wie Rindern, Ziegen, Schafen, Pferden und Schweinen, oder an wildlebenden Säugern, wie Rot-, Dam- und Schwarzwild oder Nagern. Darüber hinaus gibt es zahlreiche ornithophile Arten.

5.1. Plageerreger

Einige Arten der Simuliidae verursachen in verschiedenen geografischen Regionen allein aufgrund ihres individuenreichen Vorkommens und ihrer Aggressivität im Blutaufnahmeverhalten starke Probleme. Hierzu zählen beispielsweise *Prosimulium mixtum* und Arten des *Simulium venustum*-Komplexes in Kanada und den USA, *S. quadrivittatum*, *S. amazonicum*, *S. oyapockense* und *S. limbatum* in Mittel- und Südamerika, *Austrosimulium pestilens*, *A. australense* und *A. ungulatum* in Australien sowie *Simulium truncatum*, *S. maculatum*, *S. posticatum*, *S. reptans*, *S. erythrocephalum* und Arten der Untergattung *Wilhelmia* in Europa. Diese Arten gehören auch zu den am weitesten verbreiteten Kriebelmückenarten in den jeweiligen Regionen.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

5.1.1. Belästigung durch Massenauftreten

Selbst wenn es nicht zum Stich und zur Blutaufnahme kommt, können die umfangreichen Simuliiden-Schwärme vom Menschen als sehr lästig empfunden werden. Auch Weidetiere werden in ihrem Verhalten stark beeinträchtigt und gestresst. Beim Landen und Umherkriechen auf der Haut des Wirtes können die kleinen Mücken in Körperöffnungen, wie Ohren, Nase und Maul, gelangen und hierbei in großer Anzahl in die Lungen inhaliert werden, was zu sekundären Problemen führen kann.

5.1.2. Belästigung durch Stiche

Bei Betroffenen ist nach dem Stich eine unterschiedliche Latenz beobachtet worden, die wenige Minuten bis einige Stunden betragen kann (Werner 2006). Häufig äußern sich die Symptome in lokalen Hautveränderungen sowie in Kreislauf- und Atemsystembeschwerden. Vor allem Kleinkinder können auf die Stiche mit einem Anstieg der Körpertemperatur reagieren. Durch diese Reaktionen wird bei den Betroffenen enormer physischer wie psychischer Stress verursacht, was zu umfassenden Beeinträchtigungen des Allgemeinbefindens führt.

Bei sensibilisierten Personen treten oft starke allergische Reaktionen auf. In vielen Fällen führt der Stich durch die reaktive Ausschüttung von körpereigenem Histamin zu starken Iktusreaktionen um die Einstichstelle mit Quaddel- (Abb. 5) und Knötchenbildung, schmerzhaften Erythemen und Ödemen (Abb. 6). Oft breitet sich die Schwellung auf die gesamte Extremität aus, was zu einer Einschränkung der Bewegungsfähigkeit führen kann. Die Spanne der Empfindlichkeit reicht von leichten Schmerzen, z.T. begleitet von mehrere Tage anhaltendem Juckreiz, bis zu chronischen und langwierigen Problemen an der Einstichstelle über eine Zeitspanne von mehreren Monaten.

Durch Jucken und Kratzen können die Reaktionen an der Einstichstelle extrem verstärkt werden (Werner 2006). Besonders Kinder können dem Drang zum Kratzen nicht widerstehen und verursachen sekundäre Wunden, die sich oft entzünden und Eiterungsprozesse nach sich ziehen.

Wiederholte Stiche der Simuliiden sind beim Menschen die Ursache für ein Krankheitssyndrom, welches als „black fly fever“ oder „Simuliose“ bezeichnet wird (Fünfstück et al. 1989). Typische Symptome sind Kopfschmerz, fieberverursachtes Schwitzen, Schüttel-

Abb. 4: Frische Wunde mit Blutstropfen (Foto: Werner 2006).

Abb. 5: Wunde 2 Tage alt, Quaddelbildung (Foto: Werner 2006).

Abb. 6: Iktusreaktionen mit Knötchenbildung, Erythemen und Ödembildung am Menschen nach Simuliiden-Stichen (Foto: Vujanović 2006).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

frost, Übelkeit und Brechreiz, Anschwellung und Weichheit der Lymphknoten, akut schmerzende Gelenke, Mattigkeit und psychologische Depression. Dieses Krankheitsbild wurde bisher nur aus Nord- und Mittelamerika, dem tropischen Südamerika, Neuseeland, Japan und Europa gemeldet. Durch Simuliose verursachte Todesfälle beim Menschen sind bisher aus Europa nicht bekannt geworden.

Bei einem Massenauftreten besonders zudringlicher Arten ist bei Weidetieren oft das Schadbild der Simuliotoxikose zu beobachten, welches auf eine Überempfindlichkeitsreaktion auf die *Simulium*-Stiche zurückzuführen ist (ADLER & MCCREADIE 2009). Ausgelöst wird sie durch das toxische Speicheldrüsensekret, welches beim Saugakt von den Mücken in die Wunde injiziert wird. Nicht selten wird ein Weidetier in einem Schadgebiet in kurzer Zeit von 6.000 bis 10.000 Mücken gestochen. Als Konsequenz kann es zu einer Blutvergiftung (Toxämie) sowie zu einem akuten anaphylaktischen Schock kommen.

5.2. Übertragung von Pathogenen

In vielen Regionen, insbesondere tropischen und subtropischen, sind Simuliidae außerdem Vektoren von Viren, Protozoen und Filarien, über deren Pathogenität für die potenziellen Blutwirte aber oft unzureichende Kenntnis besteht.

5.2.1. Viren

Trotz diverser Nachweise von Viren in Kriebelmücken steht der Beweis der Übertragung vielfach aus. In einigen Fällen konnte gezeigt werden, dass eine Mitteldarm- oder Speicheldrüsenbarriere die Disseminierung der Viren über das Hämozöl der Mücken und die Infektion der Speicheldrüsen verhindern (MEAD et al. 1997). So existieren nur wenige Studien, die eine Replikation von Viruspartikeln in Kriebelmücken und eine anschließende Transmission belegen. Insbesondere gibt es kaum Untersuchungen zur Frage, ob Simuliiden Viren übertragen können, die beim Menschen zu Erkrankungen führen.

Ein Beispiel für ein humanpathogenes Virus, dass von einigen Simuliiden-Arten zumindest experimentell übertragen werden kann, ist das Vesikuläre Stomatitis-Virus (VSV), das nah mit dem Tollwut-Virus verwandt ist. Erkrankungen treten in erster Linie bei Rindern, Pferden, Schweinen und Rotwild auf, und die Infektion erfolgt üblicherweise oral, aerogen, über Schleimhäute oder Verletzungen (LETCHWORTH et al. 1999). Gelegentlich ist der Mensch betroffen, der grippeähnliche Symptome und, nach einer mehrtägigen Inkubationsperiode, in der Mehrzahl der Fälle ein biphasisches Fieber entwickelt, das von Unwohlsein, Kopf- und Muskelschmerzen sowie Schüttelfrost begleitet sein kann. Manchmal kommt Rachenentzündung, Schnupfen und Erbrechen hinzu, selten Bläschenbildung auf der Zunge, den Wangen- und Rachenschleimhäuten, den Lippen und der Nase (YUILL 1980). Ausbrüche der vesikulären Stomatitis treten periodisch zirkulierend im Westen der USA auf (LETCHWORTH et al. 1999; RODRIGUEZ 2002). Das Virus wurde wiederholt aus frei lebenden *Simulium* sp. isoliert (z. B. SCHNITZLEIN & REICHWEIN 1985; FRANCY et al. 1988), und im Labor konnten verschiedene Simuliiden-Arten (z. B. *S. vittatum*, *S. notatum*) experimentell infiziert werden (MEAD et al. 1997, 2000a, b). Eine Übertragung des Virus von Simuliiden auf Säuger wurde ebenfalls demonstriert (CUPP et al. 1992; MEAD et al. 1999, 2004, 2009).

Kriebelmücken stehen zudem unter dem Verdacht, an der Übertragung der Pferdeenzephalomyelitis-Viren beteiligt zu sein. Hierbei handelt es sich um eine Gruppe drei verwandter, in der westlichen Hemisphäre vorkommender Erreger, deren Hauptvektoren Stechmücken sind. Als Reservoirwirte fungieren Vögel (östliche bzw. westliche Pferdeenzephalomyelitis-Virus = WEEV bzw. EEEV) und Nager (Venezolanische Pferdeenzephalomyelitis-Virus = VEEV). Symptomatische Infektionen mit tödlichem Ausgang treten bei Pferden und Menschen auf.

Das VEEV, welches beim Menschen selten eine tödlich verlaufende Krankheit verursacht, kommt in der südlichen und westlichen Karibik vor. Die Symptome sind meist gekennzeichnet durch plötzliche Fieberausbrüche, Verhärtung und Schmerzen der Muskulatur, Verkrampfung, Halsentzündung und mentale Depression. Eine VEE-Epidemie brach 1967 in Kolumbien in einem Gebiet aus, das als Schadgebiet für Simuliiden bekannt war (SANMARTÍN et al. 1973). Damals konnte das Virus in fünf primär anthropophagen *Simulium*-Arten (u.a. *S. metallicum*- und *S. exiguum*-Komplexe) nachgewiesen werden. Stechmücken, die als Vektoren des VEEV gelten, waren zu diesem Zeitpunkt dagegen kaum nachweisbar, so dass eine Rolle von Simuliiden als Vektoren des VEEV diskutiert wurde. Ebenso unklar ist eine Vektorfunktion von *Simulium meridionale*, einer ausgesprochen ornithophilen Spezies, für das EEEV, das aus dieser Kriebelmückenart isoliert werden konnte (ANDERSON et al. 1961).

Auch das Rifttal-Virus (RVFV), als dessen natürliche Überträger verschiedene Arten von Stechmücken (Culicidae) gelten, wurde aus Simuliiden isoliert (VAN VELDEN et al. 1977). Die beim Menschen durch die Infektion verursachten grippeähnlichen Symptome schließen in seltenen Fällen auch hämorrhagisches Fieber, Hepatitis, Enzephalitis, Retinitis, Erblindung und Tod ein (MADANI et al. 2003).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Neben anderen Blut saugenden Arthropoden sollen *Simulium*-Arten auch an der Übertragung des Hepatitis B-Virus (HBV) beteiligt sein, das eine Leberentzündung und Gelbsucht hervorrufen kann (CHANTEAU et al. 1993). Akute fulminante Verlaufsformen werden in ca. 1 % der Fälle beobachtet und können in einem akuten Leberversagen enden. Bei etwa 10 % der Betroffenen wird die Erkrankung chronisch.

Weiterhin stehen die Simuliiden in Afrika und im mediterranen Raum im Verdacht als ‚promoter arthropods' zu fungieren und die Übertragung von Herpes-Viren zu fördern. Diese Vermutung betrifft insbesondere die Übertragung des Herpes-Virus 8, welches das Kaposi-Sarkom verursacht (COLUZZI et al. 2002, 2004; ASCOLI et al. 2006). Dieses zählt in Afrika zu einer der häufigsten Hautkrebserkrankungen.

Bekannt ist außerdem, dass Simuliiden in Europa und Australien neben dem Kaninchenfloh und Stechmücken eine wichtige Rolle in der Verbreitung des tierpathogenen *Leporipoxvirus myxomatosis*, dem Erreger der Myxomatose (Kaninchenpest), unter Kaninchen und Hasen spielen (JOUBERT & MONNET 1975).

Die Simuliidae nehmen, wenn sie mit dem Saugakt begonnen haben, ihre Blutmahlzeit bis zur vollständigen Sättigung kontinuierlich und gezielt an einem Wirt auf. Nur wenn sie ganz massiv beim Saugakt gestört werden, fliegen sie auf und setzen die Blutaufnahme möglicherweise an einem anderen Wirt fort (ADLER, pers. Mitt). Ihre Rolle als mechanische Überträger von Viren wird daher als sehr gering eingestuft.

5.2.2. Protozoen

Auf den Menschen werden durch Simuliiden keine pathogenen Protozoen übertragen. Jedoch können einzellige Blutparasiten der Gattung *Leucocytozoon* (Apicomplexa: Plasmodiidae) von Arten der Gattungen *Simulium*, *Prosimulium* und *Austrosimulium* auf Vögel übertragen werden (FALLIS et al. 1958, 1973b; BARROW et al. 1968; NOBLET et al. 1976; ADLER et al. 2004). Die Erreger dieser Malaria-ähnlichen Krankheit verursachen große ökonomische Schäden auf Geflügelfarmen, insbesondere in Nordamerika und Ostafrika. Obwohl auch Beobachtungen über Infektionen europäischer Vögel vorliegen (z. B. FALLIS et al. 1974), wurden einschlägige Untersuchungen zur Übertragung und Verbreitung von Protozoen durch Simuliiden kaum durchgeführt. Einzelne Studien existieren zur Übertragung von Trypanosomen, die für Nordamerika, Europa und Afrika wiederum auf Vögel nachgewiesen wurde (BENNETT 1961; FALLIS et al. 1973a; VOTÝPKA & SVOBODOVÁ 2004; ADLER 2005; ADLER & CROSSKEY 2009). Ob Simuliiden auch als Vektoren von Trypanosomen auf Säugetiere in Frage kommen, ist nicht bekannt (REEVES et al. 2007).

5.2.3. Nematoden

Weltweit die größte epidemiologische Bedeutung besitzen Simuliiden in den subtropischen und tropischen Regionen Afrikas als Überträger von *Onchocerca volvulus*, dem Erreger der Flussblindheit (Onchozerkose). Auf diese wird an anderer Stelle näher eingegangen (AUER & ASPÖCK 2010).

Einige *Simulium*-Arten übertragen in den neotropischen Regenwaldgebieten Süd- und Zentralamerikas (z. B. in Brasilien, Kolumbien, Guyana, Venezuela, Panama und Argentinien) mit *Mansonella ozzardi* (Nematoda: Onchocercidae) eine weitere Filarie auf den Menschen (SHELLEY & COSCARÓN 2001). Deren Entwicklungszyklus gleicht dem von *O. volvulus*. Die adulten Würmer leben subkutan im Unterhautbindegewebe, während die Mikrofilarien im Blutsystem zirkulieren, um von hämatophagen Insekten beim Stich aufgenommen werden zu können. Die Infektion des Menschen verläuft meist asymptomatisch oder ist mit unspezifischen allergischen Erscheinungen, wie Kopfschmerz, Atemwegserkrankungen und ggf. abdominalen Beschwerden, assoziiert (KLION & NUTMAN 1999).

Weibchen des *Simulium venustum*-Komplexes, die in Kanada *Dirofilaria ursi* auf Bären übertragen (ADDISON 1980), stehen im Verdacht, den Erreger einer ähnlichen Parasitose auch auf den Menschen zu übertragen. Bei allen beschriebenen Fällen waren Einstiche von Simuliiden in der Kopfregion oder am unteren Körper nachweisbar. Die Parasiten wiesen große Ähnlichkeit mit *D. ursi* auf, konnten jedoch aufgrund des nekrotischen Zustandes nicht sicher dieser Art zugeordnet werden (BEAVER & SAMUEL 1977; BEAVER et al. 1987).

Mammalophile Simuliiden sind darüber hinaus Überträger zahlreicher weiterer Filarien der Gattungen *Cutifilaria*, *Onchocerca*, *Setaria* und *Wehrdikmania* mit rein tierpathogenem Potential.

6. Vorbeugung und Bekämpfung

Da Simuliiden tagaktiv sind, sollten in Schadgebieten jegliche Aktivitäten der Anwohner, Außenarbeiten in der Land-, Forst-, Fischwirtschaft und ähnlicher Berufszweige sowie der Aufenthalt von z. B. Kleinkindgruppen, Schulklassen und Touristen im Freien während der Anflugzeit der Mücken auf ein Minimum beschränkt werden. Eine kurzfristige Abwehr der Insekten kann die vorschriftsmäßige Behandlung der Haut und Kleidung mit Repellentien bewirken. Da Simuliiden bevorzugt am Rand der Kleidung, wie Hosenbeinen, Ärmeln oder am Kragen- bzw. Halsausschnitt, saugen, sind geschlossene und anliegende Hosen, Jacken und geschlossene Schuhe zur Abwehr empfehlenswert. Besonders der Kopfbereich sollte durch eine Kopfbedeckung geschützt werden.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Bekämpfungsstrategien sind gewöhnlich auf die Larvenstadien ausgerichtet, da sie in den in Frage kommenden Habitaten leicht zu identifizieren und ihre Konzentration problemlos bestimmbar sind. Gewässersanierungsmaßnahmen, wie die Entkrautung von Schadgewässern, und bauliche Maßnahmen, wie Uferbegradigung, wurden in der Vergangenheit zwar immer wieder umgesetzt (z. B. GRÄFNER 1977; MYBERGH & NEVILL 2003), haben aber nicht die gewünschten Erfolge erzielt. Der Einsatz chemischer Insektizide zur Simuliiden-Kontrolle erlangte im 20. Jahrhundert einen Höhepunkt als DDT, chlorierte Hydrogencarbonate und Organophosphate umfassend eingesetzt wurden. Das Einleiten von Kontaktinsektiziden in die Brutgewässer ist prinzipiell sehr erfolgreich, muss jedoch in zeitlich genau definierten Abständen erfolgen. Diese Methoden sind aufgrund ihrer Auswirkungen auf andere im Lebensraum vorkommende Insekten und Wirbellose sehr umstritten, so dass ihr Einsatz mehr oder weniger zum Erliegen kam.

Eine Alternative zur chemischen Bekämpfung stellt die Applikation von *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti)-Toxin in den betroffenen Brutgewässern dar. Bei kontrolliertem Einsatz können mit diesem Endotoxin Simuliiden-Larven gezielt und selektiv vernichtet werden (MOLLOY 1990). Nach aktuellem Kenntnisstand ist es bei gewissenhafter Anwendung harmlos für andere aquatisch lebende Wirbellose. Unsachgerechtes oder unkontrolliertes Bekämpfen kann aber generell zu starken Störungen im Gleichgewicht des Ökosystems führen.

Das Wissen über die natürlichen Gegenspieler von Simuliiden-Populationen im Ökosystem ist sehr begrenzt (WERNER & PONT 2003). Sie umfassen neben Vertretern diverser Insektenfamilien Nematoden, Mikrosporidien, Pilze und Viren (DAVIES 1981). Versuche, Prädatoren zu züchten, um diese gezielt zur Populationsminimierung bei Kriebelmücken einzusetzen, sind seit den 1970er Jahren nicht mehr unternommen worden, da sie nicht effektiv genug schienen (LAIRD 1981). Der größte Effekt im Rahmen einer biologischen Kontrolle ist von mermithiden Nematoden zu erwarten (GORDON et al. 1973; MOLLOY 1981), für deren routinemäßigen Einsatz in der Schädlingsbekämpfung im Freiland jedoch nach wie vor Fragen zur Wirtsspezifität und zu den Bedingungen für Massenzuchten geklärt werden müssten.

7. Dank

Für die Überlassung von Informationen, Literatur- und Bildmaterial, sowie kritischen Hinweisen zum Manuskript sind wir folgenden Personen zum Dank verpflichtet: P.H. ADLER (Clemson University, USA), A. IGNJATOVIĆ-ĆUPINA (Universität Novi Sad, Serbien) sowie H. KAMPEN (Friedrich-Loeffler-Institut Greifswald, Insel Riems, Deutschland).

8. Zusammenfassung

Die Entwicklungsstadien der Simuliidae besiedeln alle Arten von Fließgewässern und häufen sich gewöhnlich dort vermehrt an, wo turbulente Fluss- und Bachabschnitte, Wasserfälle und Überläufe vorhanden sind. Die sessilen Larven sind Filtrierer und bilden einen umfangreichen Anteil der benthischen Biomasse. Die Blut saugenden Weibchen der Kriebelmücken sind weltweit in vielen Regionen eine ernstzunehmende Plage. Allergische Reaktionen auf die Stiche der Mücken können schwerwiegende Folgen haben und sich beim Menschen als Simuliose, bei Rindern als Simuliotoxikose präsentieren. Die Probleme treten oft in der Nähe von größeren Flachlandflüssen auf, wo Kriebelmücken Massenpopulationen bilden. In manchen Schadregionen spielen Kriebelmücken außerdem eine wesentliche Rolle bei der Übertragung von Pathogenen auf Menschen, Weidetiere und Geflügel. Sie übertragen Parasiten, wie *Dirofilaria-*, *Mansonella-*, *Onchocerca-*, *Splendidofilaria-*Arten (Kinetoplastida: Onchocercidae) und *Leucocytozoon-*Arten (Apicomplexa: Plasmodiidae) und sind möglicherweise an der Übertragung von Viren beiteiligt. Programme zur Bekämpfung der Flussblindheit (Onchozerkose) sind gezielt auf Simuliiden-Vektoren ausgerichtet und umfassen sowohl ökologische und bauliche Maßnahmen zum Wassermanagement, als auch die periodische Behandlung der Brutgewässer mit chemischen und/oder bakteriellen Larviziden. Hier kommen chemische Insektizide sowie für Simuliiden-Larven toxische „biologische" Produkte, wie das *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*-Toxin, zum Einsatz.

9. Literatur

ADDISON E.M. (1980): Transmission of *Dirofilaria ursi* (YAMAGUTI, 1941) (Nematoda: Onchocercidae) of black bears (*Ursus americanus*) by black flies (Simuliidae). — Canadian Journal of Zoology **58**: 1913-1922.

ADLER P.H., CURRIE D.C. & D.M. WOOD (2004): The Black Flies (Simuliidae) of North America. — Cornell University Press, Ithaca, NY: 1-1072.

ADLER P.H. (2005): Black Flies, the Simuliidae. — In: MARQUARDT M.C. (ed.), Biology of Disease Vectors, 2nd Ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam: 127-140.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

ADLER P.H. & R.W. CROSSKEY (2010): World blackflies (Diptera: Simuliidae): a comprehensive revision of the taxonomic and geographical inventory (http://blackflies.info/sites/blackflies.info/files/u13/SIMULIIDAE_INVENTORY__NEW_VERSION_2010.pdf, zugegriffen 28 August 2010).

ADLER P.H. & J.W. MCCREADIE (2009): Black flies (Simuliidae). — In: MULLEN G. & L. DURDEN (eds), Medical and Veterinary Entomology, Academic Press, Amsterdam: 183-200.

ANDERSON J.R., LEE V.H., VADLAMUDI S., HANSON R.P. & G.R. DEFOLIART (1961): Isolation of eastern encephalitis virus from Diptera in Wisconsin. — Mosquito News **21**: 244-248.

AUER H. & H. ASPÖCK (2010): Onchozerkose – Flussblindheit. — In: ASPÖCK H. (Hrsg.), Krank durch Arthropoden. Denisia **30**: 801-808.

ASCOLI V., FACCHINELLI L., VALERIO L., MANNO D. & M. COLUZZI (2006): Kaposi's sarcoma, human herpesvirus 8 infection and the potential role of promoter-arthropod bites in northern Sweden. — Journal of Medical Virology **78**: 1452-1455.

BARROW J.H., KELKER N. & H. MILLER (1968): The transmission of *Leucocytozoon simondi* to birds by *Simulium rugglesi* in northern Michigan. — American Midland Naturalist **79**: 197-204.

BEAVER P.C. & W.M. SAMUEL (1977): Dirofilariasis in man in Canada. — American Journal of Tropical Medicine and Hygiene **26**: 329-330.

BEAVER P.C., WOLFSON J.S., WALDRON M.A., SWARTZ M.N., EVANS G.W. & J. ADLER (1987): *Dirofilaria ursi*-like parasites acquired by humans in the northern United States and Canada: report of two cases and brief review. — American Journal of Tropical Medicine and Hygiene **37**: 357-362.

BENNETT G.F. (1961): On the specificity and transmission of some avian trypanosomes. — Canadian Journal of Zoology **39**: 17-33.

CARLSSON G. (1967): Environmental factors influencing blackfly populations. — Bulletin of the World Health Organization **37**: 139-150.

CHANTEAU S., SECHAN Y., MOULIA-PELAT J.P., LUQUIAUD P., SPIEGEL A., BOUTIN J.P. & J.F. ROUX (1993): The blackfly *Simulium buissoni* and infection by hepatitis B virus on a holoendemic island of the Marquesas archipelago in French Polynesia. — American Journal of Tropical Medicine and Hygiene **48**: 763-770.

COLBO M. H. (1982): Size and fecundity of adult Simuliidae (Diptera) as a function of stream habitat, year, and parasitism. — Canadian Journal of Zoology **60**: 2507-2513.

COLUZZI M., CALABRÒ M.L., MANNO D., CHIECO-BIANCHI L., SCHULZ T.F. & V. ASCOLI (2004): HHV-8 transmission via saliva to soothe blood-sucking arthropod bites. — British Journal of Cancer **91**: 998-999.

COLUZZI M., MANNO D., GUZZINATI S., TOGNAZZO S., ZAMBON P., ARCÀ B., COSTANTINI C. & V. ASCOLI (2002): The blood-sucking arthropod bites as possible cofactor in the transmission of human herpesvirus-8 infection and in the expression of Kaposi´s sarcoma disease. — Parassitologia **44**: 123-129.

CROSSKEY R.W. (1990): The Natural History of Blackflies. — John Wiley, Chichester, U.K.: 1-711.

ĆUPINA A.I., PETRIĆ D., ZGOMBA M., KONJEVIĆ A., GRABOVAĆ S. & D. MARINKOVIĆ (2004): Estimating the biting risk to humans by the black fly species that are most abundant in the region of Novi Sad. — DGaaE Nachrichten **3**: 105-106.

CUPP E.W., MARÉ C.J., CUPP M.S. & F.B. RAMBERG (1992): Biological transmission of vesicular stomatitis virus (New Jersey) by *Simulium vittatum* (Diptera: Simuliidae). — Journal of Medical Entomology **29**:137-140.

DALMAT H.T. (1952): Longevity and further flight range studies on the blackflies (Diptera, Simuliidae), with the use of dye markers. — Annals of the Entomological Society of America **45**: 23-37.

DAVIES D.M. (1953): Longevity of black flies in captivity. — Canadian Journal of Zoology **31**: 304-312.

DAVIES D.M. (1981): Predators upon Blackflies. — In: LAIRD M. (ed.), Blackflies: The Future for Biological Methods in Integrated Control. Academic Press, New York: 139-158.

FALLIS A.M. & F.G. BENNETT (1958): Transmission of *Leucocytozoon bonasae* CLARK to ruffed grouse (*Bonasa umbellus* L.) by the black flies *Simulium latipes* MG. and *Simulium aureum* FRIES. — Canadian Journal of Zoology **36**: 533-539.

FALLIS A.M., JACOBSON R.L. & J.N. RAYBOULD (1973a): Experimental transmission of *Trypanosoma numidae* WENYON to guinea fowl and chickens in Tanzania. — Journal of Protozoology **20**: 436-437.

FALLIS A.M., JACOBSON R.L. & J.N. RAYBOULD (1973b): Haematozoa in domestic chickens and Guinea fowl in Tanzania and transmission of *Leucocytozoon neavei* and *Leucocytozoon schoutedeni*. — Journal of Eukaryotic Microbiology **20**: 438-442.

FALLIS A.M., DESSER S.S. & R.A. KHAN (1974): On species of *Leucocytozoon*. — Advances in Parasitology **12**: 1-67.

FRANCY D.B., MOORE C.G., SMITH G.C., JAKOB W.L., TAYLOR S.A. & C.H. CALISHER (1988): Epizootic vesicular stomatitis in Colorado, 1982: isolation of virus from insects collected along the northern Colorado Rocky Mountain Front Range. — Journal of Medical Entomology **25**: 343-347.

FÜNFSTÜCK V., HERTEL W. & H. SCHULZE (1989): Simuliosis-Dermatose durch Kriebelmücken. Eine vergessene Epizootie. — Dermatologische Monatsschrift **175**: 499-503.

GORDON R., EBSARY B.A. & G.F. BENNETT (1973): Potentialities of mermithid nematodes for the biocontrol of blackflies (Diptera: Simuliidae) – a review. — Experimental Parasitology **33**: 226-238.

GRÄFNER G. (1977): Zur Artenfauna, Verbreitung, Taxonomie, Biologie, Schadwirkung und Bekämpfung von Kriebelmücken (Diptera; Simuliidae) im Bezirk Schwerin mit besonderer Berücksichtigung ihrer Bedeutung für die Jungrinderaufzucht. — Habilitationsschrift, Humboldt-Universität zu Berlin: 1-202.

IGNJATOVIĆ–ĆUPINA A., ZGOMBA M., VUJANOVIĆ L.J., KONJEVIĆ A., MARINKOVIĆ D. & D. PETRIĆ (2006): An outbreak of *Simulium erythrocephalum* (DE GEER, 1776) in the region of Novi Sad (Serbia) in 2006. — Acta Entomologica Serbica, Supplement: 97-114.

JEDLIČKA L., KÚDELA M. & V. STLOUKALOVÁ (2004): Key to the identification of blackfly pupae (Diptera: Simuliidae) of Central Europe. — Biologia **59** (Suppl. 15): 157-178.

JOUBERT L. & P. MONNET (1975): Verification experimentale du role des Simulies (*Tetisimulium bezzii* CORTI 1914 et *Odegmia* group *ornatum*) dans la transmission du virus myxomateux en Haute Provence. — Revue de Medicine Vetérinaire **126**: 617-634.

KACHVORYAN E.A., OGANESYAN V.S., PETROVA N.A. & N.I. ZELENTSOV (2007): The fauna of chironomids and blackflies (Diptera:

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Chironomidae, Simuliidae) and hydrochemical characteristics of the Hrazdan River (Armenia). — Entomological Review **87**: 73-81.

KAZANCI N. (2006): Ordination of Simuliidae and climate change impact. — Acta Entomologica Serbica, Supplement: 69-76.

KLION A.D. & T.B. NUTMAN (1999): Loaiasis and *Mansonella* infections. — In: GUERRANT R.L., WALKER D.H. & P.F. WELLER (eds), Tropical Infectious Diseases: Principles, Pathogens & Practice. Churchill Livingstone, Philadelphia, PA: 861-872.

KRENN H.W. & H. ASPÖCK (2010): Bau, Funktion und Evolution der Mundwerkzeuge blutsaugender Arthropoden. — In: ASPÖCK H. (Hrsg.), Krank durch Arthropoden. Denisia **30**: 81-103.

KURECK A. (1990): Einführung in die Biologie der Simuliidae (Diptera). — Verhandlungen Westdeutscher Entomologentag 1989: 69-80.

LAIRD M. (1981): Blackflies: The Future for Biological Methods in Integrated Control. — Academic Press, New York: 1-399.

LETCHWORTH G.J., RODRIGUEZ L.L. & J. DEL C. BARRERA (1999): Vesicular stomatitis. — Veterinary Journal **157**: 239-260.

MADANI T.A., Al-MAZROU Y.Y., Al-JEFFRI M.H., MISHKHAS A.A., Al-RABEAH A.M., TURKISTANI A.M., Al-SAYED M.O., ABODAHISH A.A., KHAN A.S., KSIAZEK T.G. & O. SHOBOKSHI (2003): Rift Valley fever epidemic in Saudi Arabia: epidemiological, clinical, and laboratory characteristics. — Clinical Infectious Diseases **37**: 1084-1092.

MEAD D.G., GRAY E.W., NOBLET R., MURPHY M.D., HOWERTH E.W. & D.E. STALLKNECHT (2004): Biological transmission of vesicular stomatitis virus (New Jersey serotype) by *Simulium vittatum* (Diptera: Simuliidae) to domestic swine (*Sus scrofa*). — Journal of Medical Entomology **41**: 78-82.

MEAD D.G., MARE C.J. & E.W. CUPP (1997): Vector competence of selected black fly species for vesicular stomatitis virus (New Jersey serotype). — American Journal of Tropical Medicine and Hygiene **57**: 42-48.

MEAD D.G., MARÉ C.J. & F.B. RAMBERG (1999): Bite transmission of vesicular stomatitis virus (New Jersey serotype) to laboratory mice by *Simulium vittatum* (Diptera: Simuliidae). — Journal of Medical Entomology **36**: 410-413.

MEAD D.G., RAINWATER LOVETT K., MURPHY D.M., PAUSZEK S.J., SMOLIGA G., GRAY E.W., NOBLET R., OVERMYER J. & L.L. RODRIGUEZ (2009): Experimental transmission of vesicular stomatitis New Jersey virus from *Simulium vittatum* to cattle: clinical outcome is influenced by site of insect feeding. — Journal of Medical Entomology **46**: 866-872.

MEAD D.G., RAMBERG F.B., BESSELSEN D.G. & C.J. MARÉ (2000a): Transmission of vesicular stomatitis virus from infected to noninfected black flies co-feeding on nonviremic deer mice. — Science **287**: 485-457.

MEAD D.G., RAMBERG F.B. & C.J. MARÉ (2000b): Laboratory vector competence of black flies (Diptera: Simuliidae) for the Indiana serotype of vesicular stomatitis virus. — Annals of the New York Academy of Sciences **916**: 437-443.

MOLLOY D.P. (1981): Mermithid parasitism of black flies (Diptera: Simuliidae). — Journal of Nematology **13**: 250-256.

MOLLOY D.P. (1990): Progress in the biological control of black flies with *Bacillus thuringiensis israelenis*, with emphasis on temperate climates. — In: de BARJAC H. & D.J. SUTHERLAND (eds), Bacterial Control of Mosquitoes and Black Flies: Biochemistry, Genetics and Applications of *Bacillus thuringiensis israelensis* and *Bacillus sphaericus*. Rutgers Univ. Press, New Brunswick, NJ: 161-186.

MYBURGH E. & E.M. NEVILL (2003): Review of blackfly (Diptera: Simuliidae) control in South Africa. — Onderstepoort Journal of Veterinary Research **70**: 307-316.

NOBLET R., ARNOLD D.C. & E.L. SNODDY (1976): Distribution of *Simulium* vectors of *Leucocytozoon smithi* in South Carolina. — Journal of Economic Entomology **69**: 481-483.

REEVES W.K., ADLER P.H., RÄTTI O., MALMQVIST B. & D. STRASEVICIUS (2007): Molecular detection of *Trypanosoma* (Kinetoplastida: Trypanosomatidae) in black flies (Diptera: Simuliidae). — Comparative Parasitology **74**: 171-175.

RODRIGUEZ L.L. (2002): Emergence and re-emergence of vesicular stomatitis in the United States. — Virus Research **85**: 211-219.

ROSS H.H. & R.W. MERRITT (1988): Factors affecting larval black fly distributions and population dynamics. — In: KIM K.C. & R.W. MERRITT (eds), Black Flies: Ecology, Population Management, and Annotated World List. Pennsylvania State University, University Park, PA: 90-108.

RÜHM W. (1983): Kriebelmücken (Simuliidae, Diptera) als Plage- und Schaderreger. — Veterinärmedizinische Nachrichten **1**: 38-50.

SANMARTÍN C., MACKENZIE R.B., TRAPIDO H., BARRETO P., MULLENAX C.H., GUTIÉRREZ E. & C. LESMES (1973): Encefalitis equina venezolana en Colombia, 1967. — Boletin de la Oficina Sanitaria Panamericana **64**: 108-137.

SCHNITZLEIN W.M. & M.E. REICHMANN (1985): Characterization of New Jersey vesicular stomatitis virus isolates from horses and black flies during the 1982 outbreak in Colorado. — Virology **142**: 426-431.

SHELLEY A.J. & S. COSCARÓN (2001): Simuliid blackflies (Diptera: Simuliidae) and ceratopogonid midges (Diptera: Ceratopogonidae) as vectors of *Mansonella ozzardi* (Nematoda: Onchocercidae) in northern Argentina. — Memórias do Instituto Oswaldo Cruz **96**: 451-458.

VAN VELDEN D.J.J., MEYER J.D., OLIVER J., GEAR J.H.S. & B. MCINTOSH (1977): Rift Valley fever affecting humans in South Africa. — South African Medical Journal **51**: 867-871.

VOTÝPKA J. & M. SVOBODOVA (2004): *Trypanosoma avium*: experimental transmission from black flies to canaries. — Parasitology Research **92**: 147-151.

WENK P. & G. SCHLÖRER (1963): Wirtsorientierung und Kopulation bei blutsaugenden Simuliiden (Diptera). — Zeitschrift für Tropenmedizin und Parasitologie **14**: 177-191.

WERNER D. (2003): The Simuliidae (Diptera) of the River Oder and its tributaries, with special reference to the re-appearance of *Simulium* (*Schoenbaueria*) *nigrum* (MEIGEN) in larger rivers in Central Europe. — Journal of Natural History **37**: 1509-1528.

WERNER D. (2006): Kriebelmücken (Simuliidae). Informationsbroschüre zur Morphologie, Lebensweise und Verbreitung der Kriebelmücken unter Berücksichtigung der Schadregionen in Deutschland sowie des Krankheitsbildes Simuliose und des Schadbildes Simuliotoxikose. — Studia dipterologica **13**: 337-358.

WERNER D. & J. GRUNEWALD (2008): Kriebelmücken (Diptera: Simuliidae) als Überträger von Krankheitserregern unter Berücksichtigung sich verändernder Umweltbedingungen in Europa. — In: LOZÁN J.L., GRASSL H., JENDRITZKY G., KARBE L. & K. REISE (Hrsg.), Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. GEO/ Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg: 206-211.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

WERNER D. & A.C. PONT (2004): Blackflies (Diptera, Simuliidae) – *Simulium posticatum* a man biting pest in Southern England. A River Cherwell Survey, March – May 2004. — Cherwell District Council Reports, Banbury, U.K., 34 SS.

WERNER D. & A.C. PONT (2003): Dipteran predators of simuliid blackflies: a worldwide review. — Medical and Veterinary Entomology **17**: 115-132.

WICHARD G. (1976): Untersuchungen zur Ökologie von Simuliiden (Diptera Simuliidae) an organisch belasteten Gewässern. — Gewässer und Abwässer **60/61**: 35-64.

YUILL T.M. (1980): Vesicular stomatitis. — In: STEELE J.H. & G.W. BERAN (eds), CRC Handbook Series in Zoonoses. Section B: Viral Zoonoses I. CRC Press, Boca Raton, FL: 125-142.

ZWICK H. & D. WERNER (1999): Simuliidae. — In: SCHUMANN H., BÄHRMANN R. & A. STARK (Hrsg.), Checkliste der Dipteren Deutschlands. Studia Dipterologica Suppl. **2**: 80-82.

Anschriften der Verfasser:

Dr. Doreen WERNER
Senckenberg Deutsches Entomologisches Institut
Eberswalder Str. 90
D-15374 Müncheberg
E-Mail: dwerner@senckenberg.de

Priv.-Doz. Dr. Jörg GRUNEWALD
Stohrerweg 20
D-72070 Tübingen
E-Mail: j.gwald@yahoo.de